بسم الله الرحمن الرحيم

دور الاستشعار عن بعد في تنمية المياه الجوفية

د. محمد عبدالله الصالح

مقدمة

الكل يعلم أن الحياة على سطح الأرض مرتبطة بتوفر الماء. ولكن المياه القابلة للاستعمال لاتمثل سوى ١٪ من كمية المياه في الكرة الأرضية وذلك لأن المياه المالحة في البحار والمحيطات والمياه المتجمدة في المناطق القطبية تمثل حوالي ٩٩٪ وتمثل المياه الجوفية حوالي ٩٨٪ من المياه العذبة السائلة، بينما تمثل المياه السطحية في البحيرات والأنهار حوالي ١٪ منها. ويعد استخدام المياه السطحية العذبة أسهل طريقة لتأمين احتياجات المياه للأغراض المختلفة. ولكن هذا المصدر المائي مع قلّته لايتوزع بشكل جيد في البيئات المختلفة. بل يقتصر وجوده على البيئات الرطبة وفي مناطق محدودة من البيئات الجافة. إضافة إلى ذلك مشكلة تلوث هذه المياه بمياه الصرف الصحي ومياه المصانع والمخلفات البترولية وغيرها من الملوثات تحد من استخدامها وخصوصا للأغراض المنزلية.

وعلى العكس من المياه السطحية العذبة، المياه الجوفية تمثل نسبة كبيرة جدا من المياه القابلة للاستخدام وتوجد في جميع البيئات. الأمر الذي يبرز أهمية المياه الجوفية كمصدر دائم للمياه ليس في البيئات الجافة فحسب بل أيضا في البيئات الرطبة. فعلى سبيل المثال حوالي ٣٠٪ من احتياجات المياه في إنجلترا يتم الحصول عليها من المياه الجوفية (Hamill and Bell ١٩٨٦) .

وتنمية المياه الجوفية ground water development مصطلح عام يطلق على عمليات استغلال هذا المورد. والاستغلال الأمثل للمياه الجوفية في منطقة جغرافية معينة يتطلب معرفة أماكن تواجد المياه الجوفية (خزانات المياه الجوفية) ومعلومات عن كمية ونوعية المياه فيها وكمية المياه التي تغذيها وكمية المياه التي تخرج منها وحدود منطقة التغذية والمواقع المناسبة لإقامة سدود التغذية والمناطق المناسبة لحفر مزيدا من الآبار، ويتطلب أيضا تطبيق الطرق المناسبة للمحافظة على هذا المورد المائي. وبعض هذه المعلومات لا يمكن الحصول عليها إلا من العمل الميداني ومن آبار الاختبار. ولكن كثير من هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من الصور الجوية والفضائية وخصوصا في غياب الخرائط الجيدة والحديثة. فالخرائط الجيولوجية والخرائط الجيومورفولوجية وخرائط التربة وخرائط النباتات الطبيعية وخرائط استخدام الأرض الحديثة تعد مصدرا مهما للمعلومات السطحية وضرورية عند التخطيط للعمل الميداني، ولكن كثير من البلدان وخصوصا الدول النامية تفتقر لمثل هذه الخرائط.

هدف الدراسة

لقد أصبح الاستشعار عن بعد وسيلة هامة عند القيام بمشاريع تنمية المياه الجوفية. فالمياه الجوفية لايمكن رؤيتها من خلال معلومات الاستشعار عن بعد ولكن الصور الجوية والفضائية توفر معلومات شاملة وحديثة عن الظواهر السطحية وبالتالي تستخدم هذه المعلومات للاستدلال على المياه الجوفية. وحتى مع توفر الخرائط الجيدة تستخدم الصور الجوية والفضائية كوسيلة مكملة للحصول على المعلومات السطحية الضرورية وذلك لأن الخريطة لاتظهر جميع التفاصيل. وعليه فإن هذه الدراسة تهدف إلى توضيح دور الاستشعار عن بعد كوسيلة سريعة ورخيصة نسبيا للحصول على معلومات عن المياه الجوفية.

الاستشعار عن بعد

الاستشعار عن بعد Remote Sensing عبارة عن مجموعة من الطرق تستخدم لجمع المعلومات عن ظواهر سطح الأرض (الطبيعية والبشرية) دون ملامستها، وذلك من مسافات قد تكون قريبة أو بعيدة (الصالح ١٩٩٢م). ومعلومات الاستشعار عن بعد تجمع بواسطة أجهزة حساسة للإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث من الأجسام تحملها غالبا الطائرات أو الأقمار الصناعية الأتوماتيكية. والمعلومات التي تقدمها أجهزة الاستشعار عن بعد أما أن تكون معلومات مرئية Imaging Sensors أو معلومات غير مرئية Non-imaging Sensors. والمعلومات المرئية المتمثلة في كل من الصور الجوية Aerial Photographs والصور الفضائية Images Space هي التي تستخدم بشكل رئيسي في التطبيقات الجغرافية. والصور الجوية عبارة عن صور فوتوغرافية تؤخذ بواسطة طائرات خاصة مجهزة بآلات تصوير خاصة تسجل الإشعاع الكهرومغناطيسي في نطاق الطيف المرئي (٤ر٠-٧ر٠ ميكرومتر) أو تحت الحمراء القريبة (٧ر٠-٩ر٠ ميكرومتر) على أفلام (أسود وأبيض أو ملونة) حساسة لهذه الطاقة. أما الصور الفضائية فيقصد بها هنا الصور الفوتوغرافية المستخرجة (المنتجة) من الصور (المرئيات) الرقمية Digital Image الأصلية لأجهزة التصوير المحمولة Sensors على الأقمار الصناعية الأتوماتيكية.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن التصوير الجوي لأي دولة أو أي منطقة منها يتم تنفيذه فقط من قبل مؤسسات حكومية معنية بهذا الأمر أو بالإشراف عليه ولذا يكون الحصول علي الصور الجوية في بعض البلدان النامية أمر في غاية الصعوبة إما لعدم توفرها أو لاعتبارها معلومات سرية. أما التصوير الفضائي فيتم بشكل دوري لأي منطقة في العالم بواسطة الأقمار الصناعية الأتوماتيكية التابعة لمؤسسات وشركات في الدول المتقدمة. ولذل فإن الصور الفضائية تتوفر لأي منطقة في العالم لدى مؤسسات عالمية بشكل تجاري. ويعد برنامج لاندساتLandsat الأمريكي وبرنامج

سبوت Spot الفرنسي آهم الأقمار الصناعية الأتوماتيكية لاستشعار الموارد الأرضية.

بدأ برنامج لاندسات Landsat في بداية السبعينات الميلادية، ويشتمل هذا البرنامج على سلسلة من الأقمار الصناعية التي أطلق منها حتى الآن خمسة بنجاح، كان أولها لاندسات -١ الذي أطلق في يوليو ١٩٧٢م. والأقمار الصناعية الثلاثة الأولى في هذه السلسلة كانت تكرر تصويرها لأية منطقة على الكرة الأرضية (ماعدا القطبين) كل ١٨ يوما، بينما لاندسات -٤ ولاندسات -٥ تكرر التصوير كل ١٦ يوم.

جميع الأقمار الصناعية التي أطلقت في هذا البرنامج مجهزة بالماسح متعدد الأطياف Multispectral Scanning System (MSS) الذي يسجل الطاقة لأربعة نطاقات من الطيف المرئي وتحت الحمراء. والوضوح المكاني Spatial Resolution لمعلومات الماسح متعدد الأطياف حوالي ٧٩م. أما لاندسات -٤ ولاندسات -٥ فإنهما مزودان أيضا بالماسح الموضوعي Thematic Mapper (TM) الذي يسجل الطاقة لسبعة نطاقات. والوضوح المكاني لمعلومات الماسح الموضوعي حوالي ٣٠م باستثناء القناة التي تسجل الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض التي تعطي وضوحا مكانيا حوالي ١٢٠م. والصورة الكاملة للماسح متعدد الأطياف أو الماسح الموضوعي تغطي منطقة جغرافية مربعة طول ضلعها ١٨٥كم.

أما فرنسا فقد بدأت برنامج سبوت Spot في منتصف الثمانينات الميلادية، ويشتمل هذا البرنامج على سلسلة من الأقمار الصناعية الأتوماتيكية التي أطلق منها حتى الآن ثلاثة بنجاح، كان أولها سبوت-١ الذي أطلق في فبراير ١٩٨٦م. والأقمار الصناعية التي أطلقت في هذه السلسلة تكرر التصوير لأية منطقة على الكرة الأرضية (ماعدا القطبين) كل ٢٦ يوما. ويحمل كل واحد من الأقمار الصناعية الثلاثة جهازي تصوير يمكن إستخدام أي منهما لتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية للموجات ٥١ر٠ ميكرومتر و٧٣ر٠ ميكرومتر بالنظام البانكروماتيكي Panchromatic Mode ، أو للعمل بالنظام متعدد

الأطياف Multispectral Mode الذي يسجل ثلاثة نطاقات من الكهرومغناطيسي، هي الأخضر (٥٠ر٠-٥٩ر٠ ميكرومتر)، والأحمر (٦١ر٠-٦٩ر٠ميكرومتر)، وتحت الحمراء القريبة (٧٩ر٠-٨٩ر٠ميكرومتر). والوضوح المكاني في النظام البانكروماتيكي ١٠م بينما هو ٢٠م في النظام متعدد الأطياف. وتغطي الصورة الرأسية الواحدة لهذان الجهازان منطقة مربعة طول ضلعها ٦٠ كم.

والمعلومات التي جمعت بواسطة الأقمار الصناعية في برنامجي لاندسات وسبوت متوفرة على شكل صور فوتوغرافية أو بيانات رقمية مسجلة على أشرطة كمبيوتر Computer Compatible Tapes (CCT) . وللحصول على مزيدا من المعلومات عن هذه البرامج يمكن الرجوع إلى الكتب المتعلقة بأساسيات الاستشعار عن بعد، مثل العنقري (١٩٨٦) والصالح (١٩٩٢) وأبو ريشة (١٩٩٣) وخاروف (١٩٩٤).

تفسير الصور للحصول على معلومات عن المياه الجوفية

خزانات المياه الجوفية وكمية ونوعية المياه فيها يمكن أن يستدل عليها جزئيا من خلال المعلومات السطحية. والظواهر السطحية التي تستخدم للإستدلال على المياه الجوفية بعضها يعد من العوامل المؤثرة فيها مثل الظواهر الجيولوجية والجيومورفولوجية وبعضها الآخر يعتمد على المياه الجوفية مثل بعض النباتات الطبيعية والنشاط الزراعي.

من المعروف أن المسامية porosity والنفاذية permeability تختلف من صخر إلى آخر. فعلى سبيل المثال المسامية والنفاذية جيدة في الصخور الرملية ولذا فإنها غالبا تخزن المياه وتسمح للمياه بالحركة خلال مساماتها، الأمر الذي يجعل إنتاجية البئر في مثل هذا الخزان عالية ومجدية إقتصاديا. على العكس من ذلك صخور الطفلshale تكون المسامية فيها جيدة ولكن النفاذية فيها منخفضة ولذا فإنها قادرة على خزن الماء ولكنها لاتسمح باستغلاله. إضافة إلى ذلك التجوية في مناطق الصخور الجرانيتية المجواه تكون ذات مسامية ونفاذية جيدة وبالتالي من المتوقع أن تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية. علاوة على ذلك الصخر يتكون من معدن أو أكثر. والمعادن المكونة للصخور تختلف درجة مقاومتها للتجوية الكيميائية، فمنها ماهو قابل للذوبان ومنها ماهو شديد المقاومة. ولذا فإن نوعية المياه تختلف باختلاف الصخور الخازنة للمياه. وهذا يعني أن التعرف على أنواع الصخور يدل على خزانات المياه الجوفية وخصائصها الطبيعية والكيميائية.

المتغيرات الجيومورلوجية لها تأثير مباشر، أيضا، على المياه الجوفية. فمن المعروف أن المياه الجوفية توجد في بطون الأودية وذلك لأن الأودية مملوءة بالرواسب المفككة ذات المسامية والنفاذية العالية. إضافة إلى ذلك الأودية تشكل منطقة منخفضة ولذا تنساب إليها مياه الأمطار بعد سقوطها مما يساعد على زيادة معدلات تسرب المياه إليها. وعليه فإن رواسب الأودية الكبيرة تخزن كميات كبيرة من المياه الجوفية. المراوح الفيضية أيضا تتشكل من رواسب مفككة سميكة ذات نفاذة

ومسامية جيدة ولذا فإنه من المتوقع أن تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية. إضافة إلى ذلك مناطق الشقوقFractures من المتوقع أن توجد فيها المياه الجوفية. كما أن الصدوع Faults والسدود الرأسية Dykes التي تقطع الأودية من المتوقع أن تعيق حركة المياه الجوفية. والسبخات تدل على أن مستوى سطح الماء الجوفي قريب من السطح.

من ناحية أخرى وجود بعض النباتات الدائمة مثل المتوغلات Phreatophytes ووجود بعض الزراعات المروية مرتبط بوجود المياه الجوفية. فمن المعروف أن بعض الأشجار الدائمة تستمد حاجتها من المياه الجوفية وبالتالي فإنها تدل على وجود وعمق المياه الجوفية. إضافة إلى ذلك وجود النباتات الدائمة التي تتحمل الملوحة العالية تعد مؤشر على نوعية المياه. أما مساحة المزارع المروية فإنها تعد مؤشر على كمية المياه الجوفية في الخزان.

والحصول على المعلومات المتعلقة بالمتغيرات السابقةِ ومن ثم دراستها يعد الخطوة الأولى عند القيام بمشاريع تنمية المياه الجوفية وذلك لأنها توفر الوقت وتقلل الحاجة إلى العمل الميداني وبالتالي تقلل التكلفة. ومثل هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من الصور الجوية والصور الفضائية. فالصور الجوية والفضائية الرأسية تمثل نظرة من علو إلى سطح الأرض، ولذا فإنها تبين المواقع النسبية للظواهر السطحية (الطبيعية والبشرية). الأمر الذي يجعلها تستخدم كوسيلة مساندة عند توفر الخرائط الحديثة أو بديلا عنها في حالة عدم توفرها.

وعلى الرغم من أنه يمكن إستخدام الأفلام الملونة الحساسة للطيف المرئي أو الحساسة للأشعة تحت الحمراء القريبة في التصوير الجوي، إلا أن غالبية الصور الجوية يستخدم في تصويرها أفلام أبيض وأسود حساسة للأشعة المرئية. ومن ناحية أخرى، يعد الوضوح المكاني العالي ورؤية الأجسام بأبعادها الثلاثة أهم ماتتميز به الصور الجوية عن الصور الفضائية من لاندسات. ولذا تبرز أهمية الصور الجوية كمصدر للمعلومات عن الظواهر الصغيرة التي يصعب تمييزها على الصور الفضائية. أما عند

القيام بالدراسات الإقليمية فإن الصور الفضائية تتفوق على الصور الجوية وذلك لأنها تتوفر لأوقات مختلفة وفي عدة نطاقات وعلى شكل قيم رقمية. إضافة إلى ذلك تغطي الصورة الفضائية من لاندسات منطقة جغرافية تزيد مساحتها على ٣٤٠٠٠ كيلومتر مربع، بينما الصورة الجوية الواحدة بمقياس ١:٥٠٠٠٠ تغطي منطقة جغرافية مساحتها حوالي ١٣٢ كيلومتر مربع. وعليه فإن الصور الفضائية ليست بديلا عن الصور الجوية وإنما تعد مكملة لها.

وصور الماسح متعدد الأطياف (MSS) والماسح الموضوعي (TM) المحمولان على الأقمار الصناعية الأتوماتيكية في برنامج لاندسات تستخدم بشكل واسع في كثير من التطبيقات ويرجع ذلك إلى تعدد نطاقات التصوير مع وضوح مكاني عالي نسبيا وخاصة صور الماسح الموضوعي، كما أن المنطقة الجغرافية التي تغطيها الصورة الواحدة كبيرة نسبيا. وحيث أن الصور الفضائية من لاندسات تتوفر في عدة نطاقات لذا فإنه عند القيام بعملية التفسير (تعريف الظواهر) لأغراض محددة فإنه ينبغي أن يتم إختيار النطاق المناسب.

ولقد لخص (١٩٩٤) Lillesand and Kiefer الاستخدامات الرئيسية لنطاقات كل من الماسح متعدد الأطياف والماسح الموضوعي. ففي الماسح متعدد الأطياف يستخدم نطاق ١ (٥ر٠-٦ر٠ ميكرومتر) لدراسة المناطق شديدة التضرس ولدراسة الرواسب العالقة غير العضوية. أما نطاق٢ (٦ر٠-٧ر٠ ميكرومتر) يستخدم للتعرف على الظواهر البشرية من مبان وطرق وغيرها، وكذلك على النباتات. نطاق٣ (٧ر٠-٨ر٠ ميكرومتر) ونطاق٤ (٨ر٠-١ر١ ميكرومتر) يستخدمان لتحديد المسطحات المائية؛ إضافة إلى ذلك فإن نطاق٤ يستخدم بشكل واسع في الدراسات الجيولوجية. أما نطاقات الماسح الموضوعي فتستخدم لتطبيقات واسعة. فنطاق١ (٤٥ر٠-٥٢ر٠ ميكرومتر) يستخدم لعمل خرائط أنواع الغابات وللتعرف على الظواهر البشرية. أما نطاق٢ (٥٢ر٠-٦٠ر٠ ميكرومتر) ونطاق٣ (٦٣ر٠-٦٩ر٠ ميكرومتر) فيستخدمان للتمييز بين أنواع النباتات، والكتلة النباتية

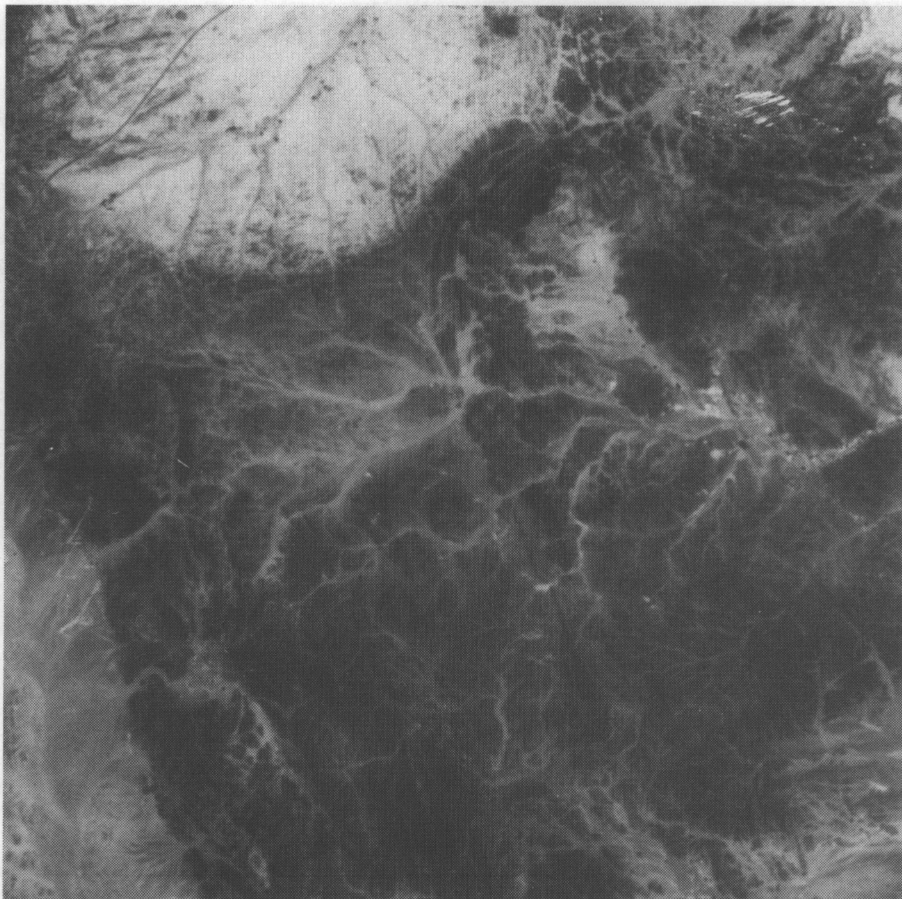
الحية، كما أنه يستخدم لتحديد المسطحات المائية وللتعرف على الاختلافات في رطوبة التربة. نطاق٥ (٥٥ر١-٧٥ر١ ميكرومتر) يساعد على معرفة محتوى النبات من الماء وكذلك رطوبة التربة، كما أنه أيضا مفيد في التفريق بين الثلج والغيوم. نطاق٦ (٤٠ر١٠-٥٠ر١٢ ميكرومتر) يستخدم لتحديد النباتات المريضة والاختلافات في رطوبة التربة. نطاق٧ (٠٨ر٢-٣٥ر٢ ميكرومتر) يستخدم للتعرف على المعادن وأنواع الصخور، كما أنه أيضا حساس لمحتوى النباتات من الماء.

وعلى العكس من الصور الجوية، الصور الفضائية تتوفر في عدة نطاقات bands وعلى شكل قيم رقمية الأمر الذي يجعل معالجتها بالحاسب الآلي بهدف تحسينها وإبراز حدة التباين بين الظواهر فيها أمرا ممكنا. وحيث أنه لايمكن الحصول على جميع التفاصيل بطريقة تحسين واحدة، لذا فإن المستخدمين في الغالب، يطبقون أكثر من طريقة لتحقيق أهدافهم. ومن أكثر طرق التحسين استخداماً طريقة زيادة التباين في الصورة الرقمية (المرئية) Contrast Stretching وطريقة إنتاج صور ملونة مركبة من ثلاثة نطاقات أو من ثلاث نسب Production of Color Composite Images وطريقة الترشيح المكاني Spatial Filtering وطريقة نسب النطاقات Band Ratio-ing وطريقة تحليل المركبات الرئيسية Principl Components Analysis (PCA) . ويجب التذكير بأن بعض طرق التحسين تبرز ظواهر معينة وفي الوقت نفسه تخفي ظواهر أخرى.

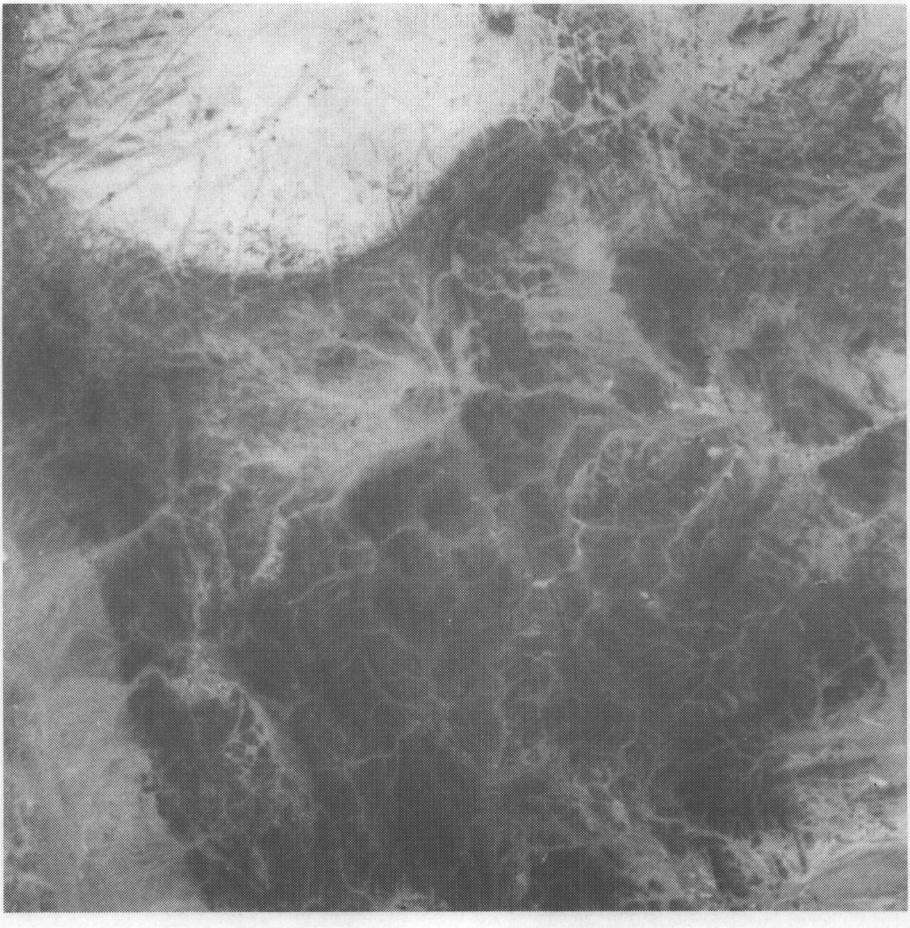
وعلى الرغم من أن الدراسة لاتهدف إلى تقييم المياه الجوفية في منطقة جغرافية معينة وكذلك لاتهدف إلى مناقشة طرق تحسين الصور المختلفة، إلا أنه من المناسب إعطاء أمثلة من الصور المحسنة تبرز دور طرق التحسين في زيادة التباين بين الظواهر مما يسهل تمييزها. فالصور من رقم١ إلى رقم٣ تغطي منطقة جغرافية مربعة طول ضلعها حوالي ٧٢ر٣٠كم وتقع في الدرع العربي. وهذه الصور عبارة عن جزء من صورة الماسح الموضوعي الرقمية (Path No.166 and Row No.44) . وتتنوع الخصائص الجيومورفولوجية والجيولوجية في هذه المنطقة الصغيرة، ويوجد فيها بعض القرى الزراعية. وتعتمد الزراعة في هذه المنطقة كلية على المياه الجوفية

الضحلة المخزونة في رواسب الأودية وماتحتها من صخور مجواة Weathered أو شقوق Fractures . والصورة رقم١ عبارة عن صورة نطاق٥ ويلاحظ أن هذه الصورة تبين كثير من الظواهر الجيومورفولوجية وبعض الظواهر البشرية. ولكن الظواهر البشرية على هذه الصورة تتشابه مع بعضها البعض ومع الظواهر الجيومورفولوجية. فعلى سبيل المثال تتشابه المناطق المزروعة مع مناطق مياه السيول المتجمعة خلف الحواجز الترابية. كما أن المزارع فيها تتشابه أيضا مع بعض التلال المفردة (المعزولة). والصورة رقم٢ عبارة عن مركب الألوان الزائفة العادية Stan-dard False Colour Composite وهي مركبة من نطاق٤ ونطاق٣ ونطاق٢ باستخدام اللون الأحمر واللون الأخضر واللون الأزرق لهذه النطاقات على التوالي. ومن هذه الصورة يمكن تمييز الحقول المزروعة بسهولة والتي تظهر باللون الأحمر، وكذلك تبين أنواع الصخور وبعض التفاصيل الجيومورفولوجية. ولكن أنواع الصخور تظهر بشكل جيد على الصورة رقم٣، وهذه الصورة عبارة عن مركب الألوان لنسب النطاقات (٤/ ٣ : أحمر و٥/ ٤ : أخضر و ٣/ ٢ : أزرق).

كما أنه من المستحسن أيضا إعطاء فكرة مختصرة عن التفسير البصري للصور. فالحصول على المعلومات عن الظواهر السطحية من الصور المحسنة يتم بعملية التفسير البصري. وفي هذه العملية يستدل على الظواهر بالتعرف على العناصر الأساسية لخصائص الظواهر على الصورة، مثل درجة اللونTone/colour والنمط Pattern والشكلShape والحجمSize. ويراعى أيضا، أثناء عملية التفسير، بعض العوامل أهمها النطاقات الطيفية Spectral Bands المستخدمة في التصوير، ووقت التصوير من اليوم والسنة، ومقياس الرسم، والوضوح المكاني Spatial Reso-lution ، والغيوم. وعملية التفسير تبدأ عادة بتعريف الظواهر الرئيسية. وبعد ذلك يتم فحص جميع أجزاء الصورة بتأني وذلك للحصول على مزيدا من المعلومات. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الخبرة تلعب دور كبير في عملية التفسير (الصالح١٩٩٦).



الصـورة رقـم (١)



الصورة رقم (٢)



الصورة رقم (٣)

تغذية المياه الجوفية

الرواسب المفككة وبعض الطبقات الجيولوجية المكونة من الصخور المتماسكة تكون المسامات (الفراغات) بين حبيباتها مملؤة كلية بالماء. وتسمى هذه التكوينات بخزانات المياه الجوفيةAquifers إذا كانت ذات نفاذية تسمح باستغلال الماء المخزون فيها. وخزانات المياه الجوفية تنقسم إلى نوعين هما الخزانات المحصورة Confined والخزانات غير المحصورة (الحرة) Unconfined . فإذا كانت الطبقة الحاملة للمياه تقع بين طبقتين غير منفذتين فإن هذا الخزان يكون محصور وتكون المياه الجوفية فيه تحت ضغط أرتوزي أعظم من الضغط الجوي، ولذا فإن المياه في الآبار المحفورة ترتفع إلى منسوب يسمى بالسطح البيزومتريpiezometric surface وهذا المنسوب يكون أحيانا أعلى من سطح الأرض. ويوجد مثل هذا الخزان غالبا في طبقات الصخور الرسوبية المائلة. أما الخزان غير المحصور فإنه يوجد إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه منكشفة على السطح وسطح الماء الجوفي فيها water table يكون تحت ضغط متعادل مع الضغط الجوي، ولذا فإن مستوى سطح الماء في مثل هذا الخزان قد يتموج ويتغير إنحداره وفقا لكميات المياه الداخلة إليه أو الخارجة منه.

الأمطار والمياه الجارية تغذي باستمرار هذه الخزانات بالمياه. فعندما تسقط الأمطار يدخل جزء منها مباشرة إلى التربة السطحية ومن ثم يتسرب إلى مناطق أعمق ليغذي المياه الجوفية. ولكن كمية المياه المتسربة من مياه الأمطار مباشرة وبالتالي كمية المياه التي تغذي الخزان تعتمد على عدة عوامل تتعلق بخصائص الأمطار وبخصائص منطقة التغذية. فمساحة منطقة التغذية وخصائص المواد السطحية وانحدار السطح تؤثر في كمية المياه المتسربة من الأمطار. فالعلاقة عكسية بينها وبين انحدار السطح. إضافة إلى ذلك تزداد معدلات التسرب مع خشونة المواد المفككة. والمتغيرات الجيومورفولوجية تؤثر أيضا وبشكل كبير في التغذية من المياه الجارية. فعلى سبيل المثال، التغذية تتأثر بسمك وخشونة الرواسب الفيضية وبخصائص المجرى المائي وبكثافة التصريف واستدارة الحوض.

وفي المناطق الجافة تكون التغذية الطبيعية قليلة، ولذا فإن الإنسان في بعض الأحيان يتدخل بشكل مباشر بهدف زيادة تغذية الخزانات. وهذه العملية تسمى بالتغذية الصناعية. وأكثر الطرق المستخدمة لهذا الغرض هي إقامة السدود والحواجز على المجاري المائية وإقامة آبار التغذية لحقن المياه في الخزانات وخصوصا الخزانات المحصورة. ولكن المعلومات الجيومورفولوجية والجيولوجية ضرورية لتنفيذ مثل هذه المشاريع.

الاستفادة القصوى من المياه الجوفية في أي منطقة جغرافية يتطلب تقدير التغذية الطبيعية وتعزيزها بالتغذية الصناعية. والعمل على مثل هذه الأمور يتطلب معلومات مناخية ومعلومات جيومورفولوجية وجيولوجيه. فبعض المعلومات المتعلقة بالمتغيرات الجيومورفولوجية والجيولوجية لايمكن الحصول عليها في غياب الخرائط الجيدة إلا من الصور الجوية أو الفضائية. فعلى سبيل المثال مساحة منطقة التغذية الكبيرة يصعب حسابها إن لم يكن مستحيلا من العمل الميداني. ويمكن تقديرها بسهولة من الصور لأن للصورة مقياس رسم معلوم. إضافة إلى ذلك شبكة المجاري المائية ضرورية لكثير من القياسات المورفومترية ويمكن رسمها بسهولة من الصور خصوصا في غياب الخرائط الطبوغرافيةالجيدة والخرائط الجيومورفولوجية التفصيلية.

مراقبة إستغلال المياه الجوفية

كمية المياه الجوفية المتوفرة في خزان ماتحكمها ثلاثة متغيرات رئيسة هي كمية المياه المخزونة فيه وكمية المياه الداخلة إليه وكمية المياه الخارجة منه. فإذا كانت كمية المياه التي تضخ من الخزان والمياه الخارجة منه بسبب حركة المياه الجوفية أقل من كمية مياه التغذية فإن الفرق في هذه الحالة يتم تصريفه على شكل ينابيع. والتنمية الكاملة full development للخزان تتم إذا كانت كمية مياه الضخ والمياه الخارجة بسبب حركة المياه الجوفية مساوية لكمية مياه التغذية. وهذا يعني أن ضخ المياه الجوفية يؤثر فقط على الجريان السطحي. أما استنزاف المياه الجوفية over-development فإنه يحدث عندما يكون الخارج من الخزان أكبر من الداخل إليه.

ومن المعروف أن عدم تحقيق التوازن بين التغذية recharge والتصريف discharge يؤدي إلى حدوث هبوط مستمر لمستوى سطح الماء الجوفي ومستوى السطح البيزومتري. والهبوط بدوره ينتج عنه بعض المشاكل مثل جفاف بعض الآبار وزيادة الملوحة وتداخل ماء البحر مع الماء الجوفي في المناطق الساحلية. الأمر الذي يستدعي تطبيق طرق المحافظة على المياه لتفادي هذه المشاكل ولتقليل الضائع وبالتالي تحقيق الاستفادة القصوى. عليه يجب تحقيق التوازن بين الداخل والخارج في الخزانات التي تحتوي على مياه متجددة، وكذلك من الواجب أن يتم التخطيط السليم لاستغلال المياه الجوفية غير المتجددة (القديمة).

وحيث أن المياه الجوفية تستخدم لأغراض مختلفة مثل الأغراض المنزلية والصناعية والزراعية والترويحية، لذا فإن التعرف على الاستخدامات الرئيسية في خزان ما وتقدير كميات المياه التي يستهلكها كل واحد منها أمر ضروري عند التخطيط لتطبيق طرق المحافظة عليه. وفي الوقت نفسه يجب تقدير كمية مياه التغذية مع الأخذ في الاعتبار إختلاف كمية مياه التغذية من سنة إلى أخرى والذي يرتبط باختلاف التساقط وخصوصا في الأراضي الجافة. إضافة إلى ذلك يجب الحصول على معلومات تبين أهمية وجدوى الأنشطة الاقتصادية المعتمدة على هذه

المياه والمتعلقة بالجوانب الاقتصادية فإنه يمكن وضع ضوابط ومعايير تهدف إلى ضمان إستمرارية هذا المورد المائي وذلك من خلال رفع الكفاءة في الاستخدام وإلى ترشيد وتقليل الاستهلاك المائي.

ترشيد الاستهلاك المائي للأغراض المنزلية والصناعية يمكن تحقيقه من خلال برامج التوعية والتثقيف وتركيب العدادات. أما عند العمل على رفع كفاءة الاستخدام وتقليل الاستهلاك المائي للأغراض الزراعية فإن الأمر يتطلب تحديد المساحات التي يمكن زراعتها (الدائمة أو الموسمية) وأنواع المحاصيل الزراعية وكذلك تحديد مواعيد الزراعة والاحتياجات المائية لهذه المحاصيل وطرق الري المناسبة لها. وهنا يأتي دور الاستشعار عن بعد لأن تطبيق هذه الضوابط يتطلب مراقبة دائمة. فالصور الفضائية تعد أفضل وأسهل وأسرع وسيلة لهذا الغرض. فالمراقبة الإقليمية يمكن تحقيقها باستخدام الصور الفضائية من لاندسات دون الحاجة إلى الزيارات الميدانية المتكررة وذلك لأن الأقمار الصناعية في هذا البرنامج تكرر التصوير كل ١٦ يوم. كما أن تحليل هذه الصور يمكن من تقدير المساحات المزروعة ويسهل التعرف على أنواع المحاصيل وأوقات زراعتها والطرق المستخدمة لريها.

الخلاصة والخاتمة

تعد المياه الجوفية مصدر دائم للمياه ليس في البيئات الجافة فحسب بل أيضا في البيئات الرطبة. وخزانات المياه الجوفية وكمية ونوعية المياه فيها يمكن أن يستدل عليها جزئيا من خلال المعلومات السطحية. والظواهر السطحية التي تستخدم للاستدلال على المياه الجوفية بعضها يعد من العوامل المؤثرة فيها مثل الظواهر الجيولوجية والجيومورفولوجية وبعضها الآخر يعتمد على المياه الجوفية مثل بعض النباتات الطبيعية والزراعة المروية. وعليه فإن الخرائط الجيولوجية والخرائط الجيومورفولوجية وخرائط التربة وخرائط النباتات الطبيعية وخرائط إستخدام الأرض الحديثة تعد مصدرا مهما للمعلومات السطحية، ولكن كثير من البلدان وخصوصا الدول النامية تفتقر لمثل هذه الخرائط. الأمر الذي يبرز دور تقنية الاستشعار عن بعد في توفير المعلومات السطحية الضرورية عند تنمية المياه الجوفية.

وحيث أن المعلومات المرئية لأجهزة الاستشعار عن بعد تتمثل بشكل أساسي في الصور الجوية والصور الفضائية، لذا فإنها تستخدم بشكل واسع للحصول على معلومات عن المياه الجوفية. فالصور الجوية تعد المصدر الرئيسي للمعلومات عن الظواهر الصغيرة وذلك لأن الوضوح المكاني فيها عالي كما أنها تسمح بالرؤية المجسمة. ولكن الحصول على الصور الجوية في بعض البلدان النامية أمر في غاية الصعوبة أما لعدم توفرها أو لاعتبارها معلومات سرية. على العكس من ذلك الصور الفضائية تتوفر لأي منطقة في العالم لدى مؤسسات عالمية بشكل تجاري. إضافة إلى ذلك،الصورة الفضائية الواحدة تغطي منطقة جغرافية كبيرة نسبيا وتتوفر بشكل دوري وفي عدة نطاقات وعلى شكل قيم رقمية، الأمر الذي جعل إستخدامها في تنمية المياه الجوفية واسع في الوقت الحاضر.

علاوة على ذلك بعض المعلومات الضرورية عند القيام بمشاريع تنمية المياه الجوفية التي يكون من الصعب إن لم يكن من المستحيل الحصول عليها بالعمل

الميداني يتم الحصول عليها بسهولة من الصور. فعلى سبيل المثال مساحة منطقة التغذية الكبيرة لايمكن حسابها في غياب الخرائط الجيدة إلا من الصور الجوية أو الفضائية وذلك لأن الصورة تظهر جميع التفاصيل ولها مقياس رسم معلوم. إضافة إلى ذلك، يعد تحليل الصور الفضائية أفضل وأسهل وأسرع وسيلة للمراقبة الدائمة للأنشطة الزراعية بهدف المحافظة على المياه الجوفية. وفي الختام، يمكن القول أن تقنية الاستشعار عن بعد تلعب دورا رئيسيا في توفير معلومات جيدة عن الظواهر السطحية لجميع مراحل تنمية المياه الجوفية.

المراجع

أبو ريشة، علي وفا، ١٩٩٣، أسس تقنيات الاستشعار عن بعد، مركز دراسات الصحراء، جامعة الملك سعود، الرياض.

الصالح، محمد عبد الله، ١٩٩٢، مرئية الاستشعار عن بعد : جمع بياناتها وتحليلها، مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض، الإصدار رقم ٢٧.

الصالح، محمد عبد الله ١٩٩٦، الطرق الأولية لتحليل الصور لاجوية والفضائية، الرياض.

العنقري، خالد محمد، ١٩٨٦، الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في الدراسات المكانية، الرياض.

خاروف، حسن حلمي، (ترجمة)، ١٩٩٤، الاستشعار عن بعد وتفسير المرئيات، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق.

Al-Saleh, M.A., 1988, The Application of the Systematic Mapping of Geomorphology for Groundwater Assessment in Wadi Al-Khanagah, Central Saudi Arabia, Unpublished Ph D Thesis, University of Southampton.

Berlin, G. L., et. al., 1983, Vegetation assessment of the Northern Arabian Shield for groundwater exploration using edge-enhanced Mss images, Proceedings of the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, pp 539-547.

Bobba, A. G., et. al ., 1992, Digitally processed satellite data as a tool in detecting potential groundwater flow systems, Journal of Hydrology, Vol. 131, pp. 25-62.

Drury, S.A., 1993, (2nd ed) Image Interpretation in Geology, Chapman & Hall, London.

Engman, E. T., and R. J. Gurney, 1991, Remote Sensing in hydrology, Chapman and Hall, London.

Hamill, L., and F.G. Bell, 1986, Groundwater resource development, Butterworth, London.

Krishnamurthy, J., et. al., 1992, Application of digital enhancement techniques for groundwater exploration in a hard-rock terrain, International Journal of Remote Sensing, Vol. 13,pp.2925-2942.

Krishnamurthy, J., et. al., 1995, Role of geological and geomorphological factors in groundwater exploratio : astudy using IRS LISS data, Int. J. Remote Sinsing, Vol. 16, pp. 2595-2618.

Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer, (3rd ed), (1994), Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, New York.

Lo, C. P., (1986), Applied Remote Sensing, Longman Scientific & Technical, Harlow, England.